



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학석사 학위논문

**위성 영상을 활용한 R&E 교육
프로그램 개발 및 적용**

- 시흥시 주변 지표이용분류를 중심으로 -

**Development and Application of R&E Educational
Program Using Satellite Image**

- Focused on Land Use Classification Around Siheung -

2018년 2월

서울대학교 대학원

사범대학 과학교육과 지구과학전공

윤 예 원

위성 영상을 활용한 R&E 교육 프로그램 개발 및 적용

- 시흥시 주변 지표이용분류를 중심으로 -

Development and Application of R&E Educational Program Using Satellite Image

- Focused on Land Use Classification Around Siheung -

지도교수 박 경 애

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함

2018년 2월

서울대학교 대학원

사범대학 과학교육과 지구과학전공

윤 예 원

윤예원의 석사 학위논문을 인준함

2018년 2월

위 원 장 최 승 언 (인)

부위원장 박 경 애 (인)

위 원 최 변 각 (인)

국문초록

R&E (Research and Education) 교육 프로그램은 다양한 과학 연구 경험을 제공하여 과학 영재들의 창의력과 과학적 사고력을 향상시킬 수 있는 기회를 제공한다는 점에서 매우 중요하다. 본 연구의 목적은 인공 위성 자료를 활용해 지표이용분류 연구 결과를 교육용 콘텐츠로 재구성하여 과학 영재 대상 R&E 교육 프로그램을 개발하는 것이다. 시흥시 주변 지역의 지표이용분류 결과를 산출하기 위하여 1988년부터 2016년까지의 장기간 Landsat 영상 자료를 수집하였다. 수분지수(NDWI), 보정수분지수(MNDWI), 식생지수(NDVI), 산림경작지수(FCI) 등 4개의 지표 분류 지수를 29년간의 Landsat 영상 자료에 적용하였다. 지표이용분류의 장기간 변화를 분석한 결과 도시와 인공구조물의 영역은 급격히 확장되었으며 산림, 경작지, 저수지, 갯벌 등의 자연 환경 영역은 감소한 것을 확인하였다. 이러한 연구를 활용해 R&E 교육 프로그램을 개발하기 위하여 연구 과정을 단순화하고 학생들의 학습 내용을 단계별로 재구성하였으며 각 단계에 해당하는 문항지를 개발하였다. 개발한 R&E 교육 프로그램을 활용해 서울대학교 시흥영재교육원 학생들을 대상으로 위성 활용 수업을 진행하였다. 본 연구는 이러한 과정을 통해 위성 기반 R&E 교육 프로그램의 활용 가능성과 개발 필요성을 강조하고 있다.

주요어 : R&E 교육 프로그램, 지표이용분류, 인공위성, 과학 영재

학 번 : 2016-21607

목 차

초록	i
List of Tables	iv
List of Figures	vi
1. 서 론	1
2. 연구 자료	4
2.1 연구 영역	4
2.2 Landsat 위성 영상	6
3. 연구 방법	12
3.1 Landsat 위성 자료 처리	12
3.1.1 연구 영역 추출	12
3.1.2 복사휘도 및 반사도 산출	14
3.1.3 RGB 합성	17
3.1.4 지표이용분류 지수 산출	19
3.1.5 지표이용분류 알고리즘 설계	21
3.2 교육 프로그램 개발 절차	23
4. 연구 결과	25
4.1 지표이용분류 결과	25
4.1.1 RGB 시계열	25
4.1.2 지수 산출 결과	27

4.1.3 지표이용분류 결과	28
4.2 교육 프로그램 개발 결과	31
4.2.1 R&E 교육 프로그램 개발	31
4.2.2 R&E 교육 프로그램 적용	34
4.2.3 현장 체험 활동을 통한 위성 자료 검증	35
4.2.4 교육 프로그램 수행 후 학생 반응	38
5. 결론 및 제언	42
5.1 결론	42
5.2 제언	43
참고문헌	45
Abstract	49

List of Figures

Figure 1. (a) Research area marked with a red square. (b) RGB synthesized image of research area using Landsat 8 data taken on September 24, 2016.	5
Figure 2. Search and Access to the Landsat Data. (a) Find research area and data range. (b) Select data sets. (c) Find the available data. (d) Download the data.	8
Figure 3. Near-IR raw data of Landsat from: (a) Sep. 27, 1988, Landsat 5 (b) Sep. 22, 1992, Landsat 5 (c) Sep. 1, 1996, Landsat 5 (d) Sep. 4, 2000, Landsat 7 (f) Sep. 13, 2006, Landsat 5 (g) Sep. 16, 2010, Landsat 7 (h) Sep. 24, 2016, Landsat 8	11
Figure 4. Flow chart of the procedure to derive the Landuse classification.	16
Figure 5. Procedure to process the satellite data. (a) Band 4 raw data of Landsat 5 on September 22, 1992. (b) Result of extracting the ROI. Calculating DN to radiance. (d) Converting radiance to reflectance.	16
Figure 6. (a) Reflectance of Band 1 (b) Reflectance of Band 2 (c) Reflectance of Band 3 used for calculating (d) RGB synthesis image from Landsat 5 data on September 22, 1992.	18
Figure 7. Flow chart of the procedure to produce the land classification image.	22

Figure 8. Process of developing the R&E program.	24
Figure 9. Result of RGB image synthesis from: (a) Sep. 27, 1988, Landsat 5 (b) Sep. 22, 1992, Landsat 5 (c) Sep. 1, 1996, Landsat 5 (d) Sep. 4, 2000, Landsat 7 (f) Sep. 13, 2006, Landsat 5 (g) Sep. 16, 2010, Landsat 7 (h) Sep. 24, 2016, Landsat 8	26
Figure 10. Calculated indices from Landsat 5 data on September 22, 1992. (a) NDVI index. (b) NDWI index. (c) MNDWI index. (d) FCI index.	27
Figure 11. Land classification results from: (a) Sep. 27, 1988, Landsat 5 (b) Sep. 22, 1992, Landsat 5 (c) Sep. 1, 1996, Landsat 5 (d) Sep. 4, 2000, Landsat 7 (f) Sep. 13, 2006, Landsat 5 (g) Sep. 16, 2010, Landsat 7 (h) Sep. 24, 2016, Landsat 8	29
Figure 12. Percentage(%) of the Landuse of Siheung area using Landsat data from 1988 to 2016.	30
Figure 13. Photographs that students are participating in the R&E program.	35
Figure 14. (a) Landuse classification result from Landsat 8 on September 24, 2016 and (b) Scene photos of each site.	37
Figure 15. Students' appreciation to the class after 60 hours R&E program.	41

List of Tables

Table 1. Band Characteristics and Resolution of Landsat.	7
Table 2. List of Landsat Scenes used in this study.	10
Table 3. Learning contents for each steps	32
Table 4. R&E Program questionnaire for students.	33
Table 5. Information of the class for R&E program.	34
Table 6. Information of field validation.	36
Table 7. Geographical location of each site.	36

1. 서론

과학 영재 교육은 다양한 고부가 가치 산업의 핵심 인재를 육성한다는 측면에서 개인적으로는 물론 국가경쟁력 향상을 위해서도 매우 중요한 국가적 과제이다(김혜숙, 2008). 과학 영재에게 적절한 교육 콘텐츠를 제공하기 위해서는 전문가, 대학 및 연구 기관 인프라 등을 활용한 교육 프로그램을 개발하여 학생들에게 여러 분야의 지식과 종합적 사고력 및 창의성을 신장할 수 있는 경험을 충분히 제공할 필요가 있다(이도현, 2016).

영재를 위한 대표적인 교육 방법으로 R&E (Research and Education)를 들 수 있는데, ‘연구를 통한 학습 프로그램’을 의미하는 R&E 교육은 주로 대학에서 첨단 기기들을 통해 이루어지며, 학교에서 경험할 수 없는 최신 과학과 관련된 학습 경험을 제공한다는 이점이 있다(김정민과 심규철, 2008). R&E 교육 프로그램은 학교 정규 활동 내에서 습득할 수 없는 과학의 본성과 관련된 교육을 제공하며 창의적 사고력, 과학적 탐구 방법, 전문 지식, 과학자의 태도, 동료와의 협력 등을 습득하는데 긍정적인 영향을 준다(김경대와 심재영, 2008). 따라서 영재 교육이 성공적으로 이루어지기 위해서는 영재 학생의 수준과 특성을 반영하면서 과학자들의 연구 방법을 기반으로 하는 R&E 교육 프로그램 개발이 필요하다(강성주, 2009).

그 동안 R&E 교육과 관련된 연구는 주로 R&E 교육 프로그램의 운영 실태를 파악하고 참여 학생 및 교사들의 인식을 분석하여 개선 방안을 찾는 방향으로 진행되었다(김경대와 심재영, 2008; 이신동 외, 2011; 정현철 외, 2012; 강성주 외, 2009). 과학을 주제로 구체적인 R&E 교육 프로그램을 개발한 연구로는 기존의 지식을 조합하여 교육 프로그램으로 구성한 사례(임길선과 정완호, 2004; 강다현, 2008)와 직접 실험 장치 및 방법을 개발하여 학습 도구를 제작한 사례(허정윤, 2004; 김진섭, 2015; 팽주현, 2015) 등이 있다. 지구과학 관련 R&E 교육 프로그램으로는 지질 답사 및 천문 분야에 관한 교육 프로그램이 개발되었다(여상인,

2015; 한기순 외, 2002; 김연수, 2010).

R&E 교육을 목적으로 하지는 않더라도 지구과학 관련 교육 방법을 개발한 연구들은 지속적으로 진행되어 왔다. 인터넷 기반 원격 천체 관측 시스템을 개발한 사례(양종우 외, 2013), 소형망원경을 이용한 천체 분광 관측 시스템을 개발한 사례(양종우와 김희수, 2014), 3D 파노라마를 이용해 가상 야외 지질 답사 자료를 개발한 사례(김희수, 2014), DSLR을 이용해 태양 자전 주기를 측정하는 방법을 개발한 사례(부건우 외, 2013) 등이 이에 속한다. 하지만 주로 지질, 천문 분야에 한정되며 대기, 해양, 환경 등의 분야에 관한 교육 프로그램 개발 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

지구 환경 모니터링과 기후 변화에 대한 관심이 증대되면서 과학 영재를 육성하여 우수한 지구과학 연구 인력을 배출해야 할 필요성이 증가하여 보다 다양한 분야의 지구과학 R&E 교육 프로그램 개발이 필요하다. 하지만 지구과학의 학문적 특성상 탐구 대상의 시간 및 공간적 규모가 매우 광범위하며, 실험실 환경에서 자연 현상을 재현하기 어렵고, 물리적으로 접근하기 어려운 영역들을 대상으로 하기 때문에 실험실에서 변인을 통제하여 학생들에게 유의미한 실험 및 실습 기회를 제공하는 데 한계가 있다(교육부, 1997). 이에 따라 과목 특성에 적절한 새로운 탐구 방법이 제시되어야 할 것이며, 인공위성을 활용한 탐구가 그 대안이 될 수 있을 것이다.

인공위성은 넓은 지역의 관측 자료를 주기적으로 제공하며 시공간의 제약 없이 다양한 연구 주제를 가지고 과학적 탐구를 가능하게 한다. 이러한 이유로 해양, 대기, 지질, 지리, 도시공학, 생물 등 다양한 분야에서 수십 년 간 축적된 데이터를 바탕으로 위성 활용 연구들이 활발하게 이루어지고 있다. 최근 위성 운영 기관들이 온라인을 통해 관측 자료를 무료로 배포하는 인프라를 갖추고 있다는 점도 위성 활용 교육 프로그램의 이점이다. 원하는 경우 학생들도 온라인을 통해 자료를 수집한 후 저렴한 비용으로 위성 연구를 수행할 수 있다. 특히 Landsat 위성은 1972년 발사된 이후 현재 운영되고 있는 Landsat 7과 Landsat

8에 이르기까지 연속적으로 자료를 제공하고 있어 한 지역의 장기적인 변화를 연구하기에 유용하다.

인공위성 연구를 기반으로 한 영재 프로그램 개발은 대학 중심의 R&E 교육 한계를 극복하여 학습자가 직접 연구를 수행할 수 있는 기회를 제공할 것이고, 나아가 위성 관련 산업에 관한 진로를 체험하게 하여 우수 과학 인력을 확보하는데 도움을 줄 것이다. 따라서 본 연구에서는 과학 영재들이 인공위성을 활용한 교육 프로그램에 참여할 수 있는 기회를 제공하고자 1) 위성 영상 수집 및 처리 과정을 제시하고, 2) Landsat 위성 자료를 활용해 지표 이용을 분류하는 알고리즘을 설계하여, 3) 1988년부터 2016년까지 시흥시 주변 지역의 도시 변화 양상을 분석하고, 4) 이러한 과정을 R&E 교육 프로그램에 적합하게 단순화 및 재구성하여 학습 내용을 제시한 후, 5) 실제 학생들을 대상으로 수업을 진행하여 위성 연구의 교육적 활용 가능성을 모색하고자 한다.

2. 연구 자료

2.1 연구 영역

시흥시 주변 지역에서는 수도권 인구 분산과 공업 용지 및 농지 확보를 목적으로 1986년 시화지구 개발 사업이 시작되었고 1994년 시화호가 형성된 이후에도 지속적으로 도시 개발이 진행되었다(이혜경, 2012). 송도 신도시에서는 1996년부터 점진적으로 매립 공사가 진행되었다(김동휘 외, 2010). 본 연구에서는 과거부터 현재까지 간척 사업에 의해 지표 이용 변화가 활발한 시흥시 주변과 인천 송도 신도시를 포함한 경기만 일대인 위도 33°N 이상 38°N 이하, 경도 126.6°E 이상 126.9°E 이하인 지역을 연구 영역으로 선정하였다(Figure 1).

특히 본 연구에서 개발한 R&E 교육 프로그램은 서울대학교 시흥영재교육원에 선발된 시흥시 소재 학생들을 대상으로 적용하였으므로 해당 영역을 설정하는 것이 학생들의 학습 동기를 고취시키는 데 유익한 역할을 할 것이라 기대하였다. 다른 지역 학생들을 대상으로 수업을 진행하는 경우 연구 영역을 적절하게 변경하면 학생들이 실제 생활과 밀접한 연구를 수행할 수 있을 것이다.

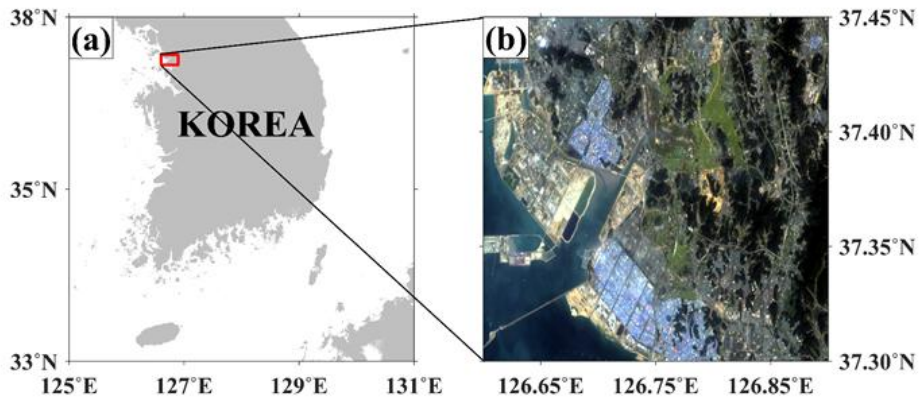


Figure 1. (a) Research area marked with a red square. (b) RGB synthesized image of research area using Landsat 8 data taken on September 24, 2016.

2.2 Landsat 위성 영상

효율적이고 지속가능한 도시 개발을 위해서는 정확한 과거 분석을 토대로 미래 토지 이용 계획을 수립하여야 한다. 토지 이용 현황은 현장조사, 항공사진 등 다양한 경로를 통해 확인할 수 있지만, 특히 위성에 의한 원격 탐측 기법은 다른 방법에 비해 넓은 지역을 빠른 시간에 관측할 수 있으며, 장기간 고해상도의 데이터가 축적되고 있다는 점에서 활용가치가 증대되고 있다(지준범, 2014).

본 연구에서는 현재까지 사용되고 있는 인공위성 중 가장 오래 운영되고 있는 Landsat 위성을 사용하였다. Landsat 위성의 재방문 시간(revisit time)은 16일이고, 해상도는 가시광선에서 근적외선 영역까지는 30 m, 열적외선 영역은 120 m(e.g., Landsat 5 and Landsat 7) 또는 100 m(e.g., Landsat 8), 전정색(Panchromatic) 영역에서는 15 m(e.g., Landsat 7 and Landsat 8)이다(Table 1). 1972년 Landsat 1을 시작으로 2013년 Landsat 8까지 발사되었고 현재는 Landsat 7과 Landsat 8이 동시에 운영되고 있다. Landsat 위성 자료를 사용하면 장기간 정기적인 고해상도 위성 자료를 수집할 수 있기 때문에 지구 표면의 장기 변화를 분석하기 용이하다.

미국 지질조사국은 홈페이지(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)에서 Landsat 위성 자료를 무료로 배포하고 있다. 회원가입을 신청하면 수 일내에 자료를 다운받을 수 있는 권한을 얻을 수 있다. 연구 영역이 포함되도록 점을 찍거나 좌표를 입력하고, 연구 기간을 입력한 후, 'Data Sets'을 클릭한다(Figure 2a). 다음으로 'Landsat Archive'의 하위 그룹인 'Pre-Collection'에서 사용하고자 하는 위성을 고른 후 'Results'를 클릭한다(Figure 2b). 검색된 자료 중에서 연구에 사용할 수 있는 영상을 선택하고(Figure 2c) 'Download Options'를 클릭하면 Level 1 자료를 다운받을 수 있다(Figure 2d).

Table 1. Band Characteristics and Resolution of Landsat.

Satellite	No.	Wavelength (μ m)	Band	Resolution (m×m)
L5 & L7	1	0.45-0.52	Blue	30×30
	2	0.52-0.61	Green	30×30
	3	0.63-0.69	Red	30×30
	4	0.76-0.90	Near IR	30×30
	5	1.55-1.75	SWIR-1	30×30
	6	10.4-12.5	Thermal	120×120
	7	2.08-2.35	SWIR-2	30×30
	8	0.52-0.90	Panchromatic (L7 only)	15×15
L8	1	0.43-0.45	Coastal/Aerosol	30×30
	2	0.45-0.51	Blue	30×30
	3	0.53-0.59	Green	30×30
	4	0.64-0.67	Red	30×30
	5	0.85-0.88	Near IR	30×30
	6	1.57-1.65	SWIR-1	30×30
	7	2.11-2.29	SWIR-2	30×30
	8	0.50-0.68	Panchromatic	15×15
	9	1.36-1.38	Cirrus	30×30
	10	10.60-11.19	Thermal	100×100
	11	11.50-12.51	Thermal	100×100

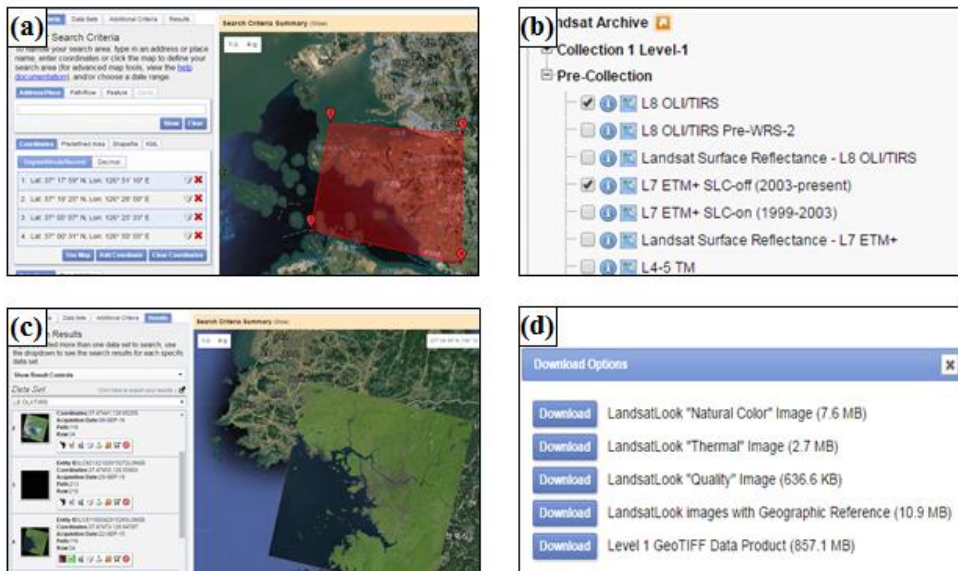


Figure 2. Search and Access to the Landsat Data. (a) Find research area and data range. (b) Select data sets. (c) Find the available data. (d) Download the data.

Landsat 위성에 장착된 센서는 가시광선에서 적외선 영역의 전자기파를 관측하므로 구름이 있는 경우 지표에서 방출된 전자기파가 일부 차단되어 영상 분석 결과에 오류를 발생시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전체 영역 중 구름이 차지한 영역이 10% 이내이면서 연구 영역이 구름에 의해 차폐되지 않은 위성 영상을 사용하였다(Figure 3). 또한 지표를 분류할 때 계절에 의한 변동을 배제하기 위하여 9월로 자료의 시기를 통일하였으며, 1988년부터 2016년까지의 연구 기간 중 이러한 조건을 만족하는 8장의 위성 영상을 수집하여 분석에 활용하였다(Table 2).

Table 2. List of Landsat scenes used in this study.

No.	Date	Satellite	Time	Cloud(%)
1	27 Sep. 1988	Landsat 5	10h 41m 41s	8.00
2	22 Sep. 1992	Landsat 5	10h 33m 01s	0.00
3	01 Sep. 1996	Landsat 5	10h 27m 59s	0.00
4	04 Sep. 2000	Landsat 7	11h 01m 51s	1.00
5	29 Sep. 2003	Landsat 7	10h 59m 14s	2.00
6	13 Sep. 2006	Landsat 5	11h 04m 48s	0.00
7	16 Sep. 2010	Landsat 7	11h 03m 20s	9.00
8	24 Sep. 2016	Landsat 8	11h 11m 17s	1.52

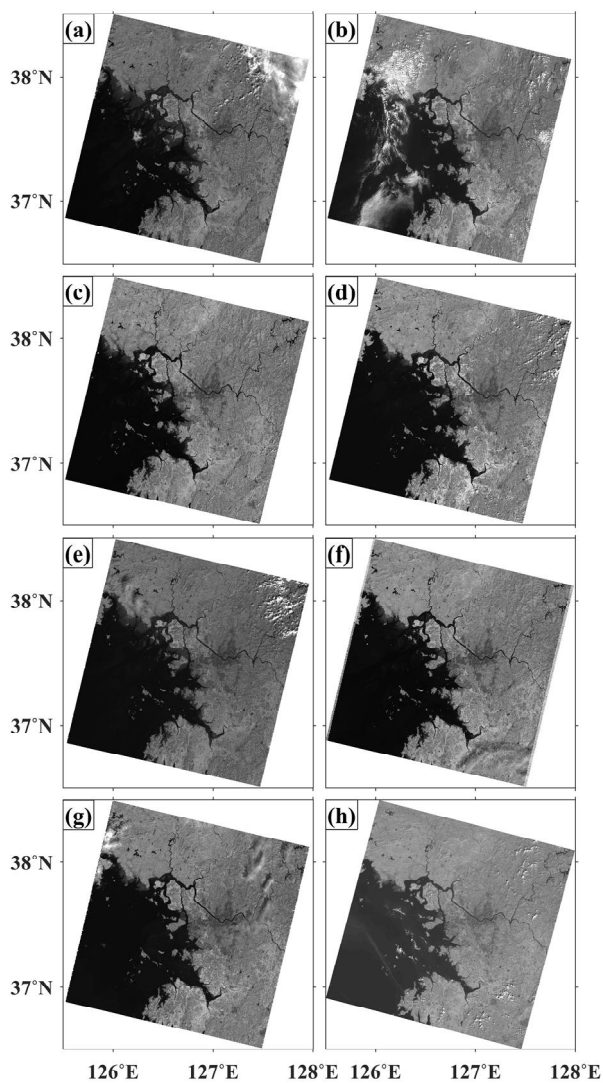


Figure 3. Near-IR raw data of Landsat from: (a) Sep. 27, 1988, Landsat 5 (b) Sep. 22, 1992, Landsat 5 (c) Sep. 1, 1996, Landsat 5 (d) Sep. 4, 2000, Landsat 7 (f) Sep. 13, 2006, Landsat 5 (g) Sep. 16, 2010, Landsat 7 (h) Sep. 24, 2016, Landsat 8

3. 연구 방법

3.1 Landsat 위성 영상 처리

3.1.1 연구 영역 추출

Figure 4에는 지표이용분류에 대한 단계별 흐름도가 제시되어있다. 위성 영상을 수집한 후 수행되어야 하는 과정은 연구 영역 추출 단계이다. Landsat 위성의 기기적 오차로 인해 동일한 지역을 촬영한 영상 간에도 관측 시기에 따라 영상의 폭과 길이, 중심의 위치 등에서 근소한 차이가 나타난다. 동일한 연구 영역을 분석하기 위해서는 위성 영상에서 연구 영역을 추출하여 자료를 재배열하는 과정이 필요하며 본 연구에서는 위도 33°N 이상 38°N 이하, 경도 126.6°E 이상 126.9°E 이하인 지역을 연구 영역으로 설정하였다(Figure 5a, b).

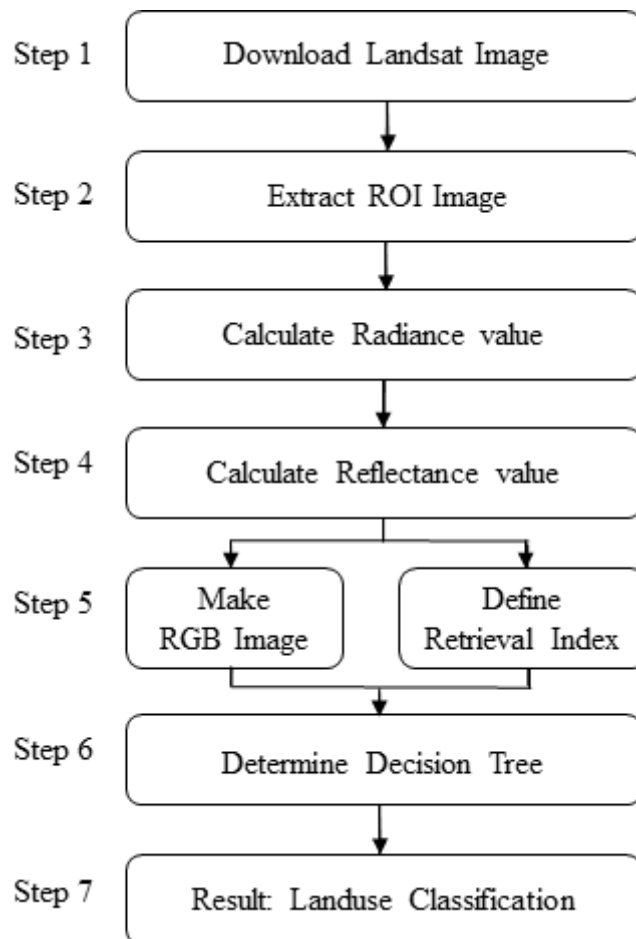


Figure 4. Flow chart of the procedure to derive the Landuse classification.

3.1.2 복사휘도 및 반사도 산출

인공위성은 다른 디지털 기기들과 마찬가지로 기기값(digital number)으로 자료를 저장한다. 인공위성 원시 자료의 기기값을 과학 연구에 사용하기 위해서는 물리적 의미를 갖는 물리 변수로 변환해주는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 반사도(reflectance)를 사용하기 때문에 Landsat 위성의 기기값을 반사도로 변환하는 단계가 필요하다. Landsat 위성의 종류에 따라 반사도를 구하는 알고리즘에 차이가 있다.

Landsat 5와 Landsat 7에서는 기기값을 복사휘도(radiance)로 변환한 후 계산된 복사휘도를 다시 반사도로 변환해주어야 한다. 이 때 식 (1)을 사용하여 기기값(Q_{cal})을 복사휘도(L_λ)로 변환하고(Figure 5c) 식 (2)를 이용해 복사휘도를 반사도(ρ_λ)로 변환해야 하며, 이 때 필요한 상수들은 문헌자료와 위성의 원시자료에 포함되어 있는 메타데이터(metadata)에서 얻을 수 있다(Chander et al., 2009; NASA, 2016).

$$L_\lambda = \frac{(LMAX_\lambda - LMIN_\lambda)}{(Q_{calmax} - Q_{calmin})} \times (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_\lambda \quad (1)$$

L_λ : 센서의 구경에 대한 분광 복사휘도(radiance)

Q_{cal} : 양자화 교정 화소값 (기기값)

Q_{calmin} : $LMIN_\lambda$ 과 대응하는 최소 양자화 보정 화소값

Q_{calmax} : $LMAX_\lambda$ 과 대응하는 최대 양자화 보정 화소값

$LMIN_\lambda$: Q_{calmin} 과 같은 스케일의 센서 분광 복사휘도(radiance)
[$W/(m^2 sr \mu m)$]

$LMAX_\lambda$: Q_{calmax} 과 같은 스케일의 센서 분광 복사휘도(radiance)
[$W/(m^2 sr \mu m)$]

$$\rho_\lambda = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{ESUN_\lambda \times \cos \theta_s} \quad (2)$$

ρ_λ : 대기 상층의 행성 반사도(reflectance)

π : 수학적 상수 (≈ 3.14159)

L_λ : 센서의 구경에 대한 분광 복사휘도(radiance) [$W/(m^2 sr \mu m)$]

d : 지구와 태양사이 거리 [AU]

$ESUN_\lambda$: 외권의 평균 태양 복사조도(irradiance) [$W/(m^2 sr \mu m)$]

θ_s : 태양 천정각 [$^\circ$ (각도)]

Landsat 8에서는 복사휘도 변환을 거치지 않고 기기값(Q_{cal})을 직접 반사도(ρ_λ)로 계산하는 것이 가능하다(NASA, 2016). 식 (3)을 사용하여 Landsat 8의 기기값을 반사도로 변환하였으며, 각각의 상수들은 위성의 원시자료에 포함되어 있는 메타데이터에 첨부되어 있다.

$$\rho_\lambda = \frac{M_\rho \times Q_{cal} + A_\rho}{\sin \theta} \quad (3)$$

ρ_λ : 대기 상층의 행성 반사도

M_ρ : 특정 밴드 반사도 배율 조정 계수

A_ρ : 특정 밴드 반사도 부가 조정 계수

Q_{cal} : 양자화 교정 화소값 (기기값)

θ : 태양 고도 [$^\circ$ (각도)]

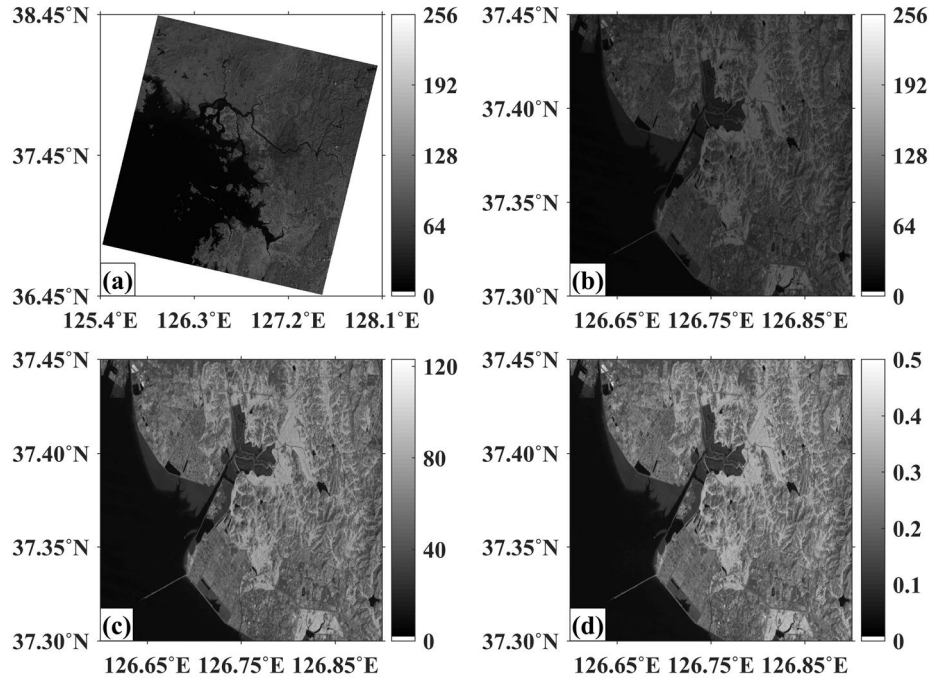


Figure 5. Procedure to process the satellite data. (a) Band 4 raw data of Landsat 5 on September 22, 1992. (b) Result of extracting the ROI. Calculating DN to radiance. (d) Converting radiance to reflectance.

3.1.3 RGB 합성

2.1.2 과정에서 구한 각 밴드별 영상의 반사도 값은 지표가 복사하는 전자기파의 세기를 나타내고 있다. 수집한 자료를 육안으로 관측하는 지표의 색상과 유사하게 영상으로 표현하기 위해, 위성 자료 처리 프로그램을 이용하여 RGB 영상을 산출하였다(Figure 6). 적색, 녹색, 청색 영역의 반사도를 합성하기 위해 Landsat 5와 Landsat 7에서는 Band 1, Band 2와 Band 3의 반사도를, Landsat 8에서는 Band 2, Band 3와 Band 4의 반사도를 사용하였다(Table 1). 본 연구에서는 합성한 RGB 영상을 바탕으로 연구자가 직접 지표이용의 종류를 판단하여 물, 갯벌, 인공구조물, 산림, 경작지를 구분하여 각 영역에 해당하는 표본자료(training sample)를 추출하였다. 추출한 표본자료를 이용해 각 영역에 해당하는 밴드별 반사도를 비교하였고, 반사도를 분석한 결과를 바탕으로 지표이용분류를 수행하였다.

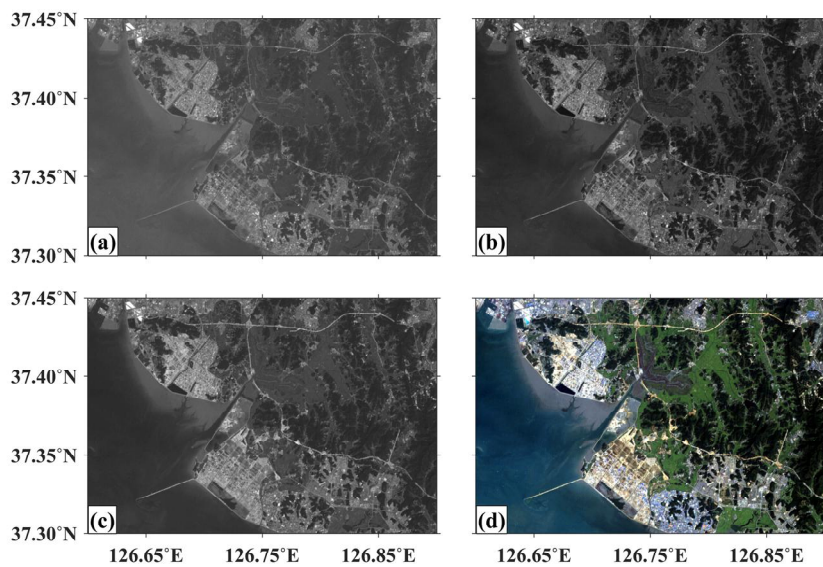


Figure 6. Reflectance of (a) Band 1 (b) Band 2 (c) Band 3 used for calculating (d) RGB synthesized image from Landsat 5 data on September 22, 1992.

3.1.4 지표이용분류 지수 산출

미국 항공우주국은 지구 자원 탐사 위성을 개발한 이후에 Landsat으로 이름을 변경하였고 이 위성을 운영하면서 식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)를 고안하였다(Rouse et al., 1974). 식생지수 산출식은 식 (4)와 같으며 Landsat 5와 Landsat 7에서는 Band 4와 Band 3의 반사도를, Landsat 8에서는 Band 5와 Band 4의 반사도를 사용하여 NDVI를 계산한다(표 1). 이 산출식은 연구 영역에서 산림이나 경작지와 같은 식생 영역을 파악하는 가장 보편화된 지수로 사용되고 있다(Park et al., 2012; Bayarsaikhan et al., 2013).

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad (4)$$

수분지수(NDWI, Normalized Difference Water Index)는 식생지수가 고안된 이후 지표에서 물인 영역을 구분하기 위해 개발되었다. NDWI 산출식에는 McFeeters(1996)가 녹색, 근적외선 영역 파장대를 이용해 개발한 식과 Gao(1996)가 근적외선, 중적외선 영역 파장대를 이용해 개발한 식이 있다. 본 연구에서는 McFeeters의 NDWI를 사용하였으며 해당 식은 식 (5)과 같다. Landsat 5와 Landsat 7에서는 Band 2와 Band 4의 반사도를 이용하였고, Landsat 8에서는 Band 3과 Band 5의 반사도를 사용하였다(Table 1). NDWI는 인공위성 영상에서 지표가 갯벌인 영역을 분류하는 데 유용하다(Murray et al., 2012).

$$NDWI = \frac{R_{Green} - R_{NIR}}{R_{Green} + R_{NIR}} \quad (5)$$

NDWI를 사용할 경우 인공구조물과 물인 영역을 정확하게 분류하지 못하는 사례가 확인되어 보다 정밀하게 물인 영역을 구분하기 위하여 보정수분지수(MNDWI, Modified Normalized Difference Water Index)가

식 (6)과 같이 제안되었다(Xu, 2006). Landsat 5와 Landsat 7에서는 Band 2와 Band 5의 반사도를 이용하고, Landsat 8에서는 Band 3과 Band 6의 반사도를 사용하였다(Table 1). MNDWI는 인공위성 영상에서 지면이 물인 영역을 분류하는데 사용되고 있다(Xu, 2006).

$$MNDWI = \frac{R_{Green} - R_{SWIR-1}}{R_{Green} + R_{SWIR-1}} \quad (6)$$

녹색 영역 과장대에서는 산림과 경작지 모두 반사도가 높게 나타났지만, 적색 영역과 청색 영역 과장대에서는 산림이 경작지에 비해 높은 반사도를 보였다. 이러한 특성을 토대로 본 연구에서는 경작지를 구분하기 위해 식 (7)과 같이 산림경작지수(FCI, Forest Crop Index) 산출식을 정의하였다. Landsat 5와 Landsat 7에서는 Band 1과 Band 2, Band 3의 반사도를 이용해, Landsat 8에서는 Band 2와 Band3, Band 4의 반사도를 사용하여 산림과 경작지를 구분하였다(Table 1).

$$FCI = \frac{R_{Blue} + R_{Red}}{R_{Green}} \quad (7)$$

3.1.5 지표이용분류 알고리즘 설계

본 연구에서는 DT(Decision Tree) 알고리즘을 활용해 지표이용분류 알고리즘을 설계하였다. DT 알고리즘은 데이터마이닝(data mining) 분석의 대표적인 방법으로 인공지능, 기계학습, 통계분석에서도 널리 활용되고 있다(Quinlan, 1986). 이 분석 방법은 결과 해석이 쉽고 자료 가공이 용이하다는 장점이 있다. 본 연구에서 활용한 지표이용분류 알고리즘은 NDVI, NDWI, MNDWI, FCI를 사용해 설계하였다(Figure 7). 우선 보정수분지수(MNDWI)를 이용해 물인 영역(Water)과 물이 아닌 영역을 구분하였고, 수분지수(NDWI)를 활용해 물이 아닌 영역에서 갯벌인 부분(Tidal)을 구별하였다. 남은 영역에서 NDVI(NDVI)를 이용해 식생인 영역과 인공구조물(Built-up)로 이루어진 비식생 영역을 분류하였다. 마지막으로 식생 영역에서 산림경작지수(FCI)를 이용해 산림(Forest)인 영역과 경작지(Crop)인 영역을 구분하였다.

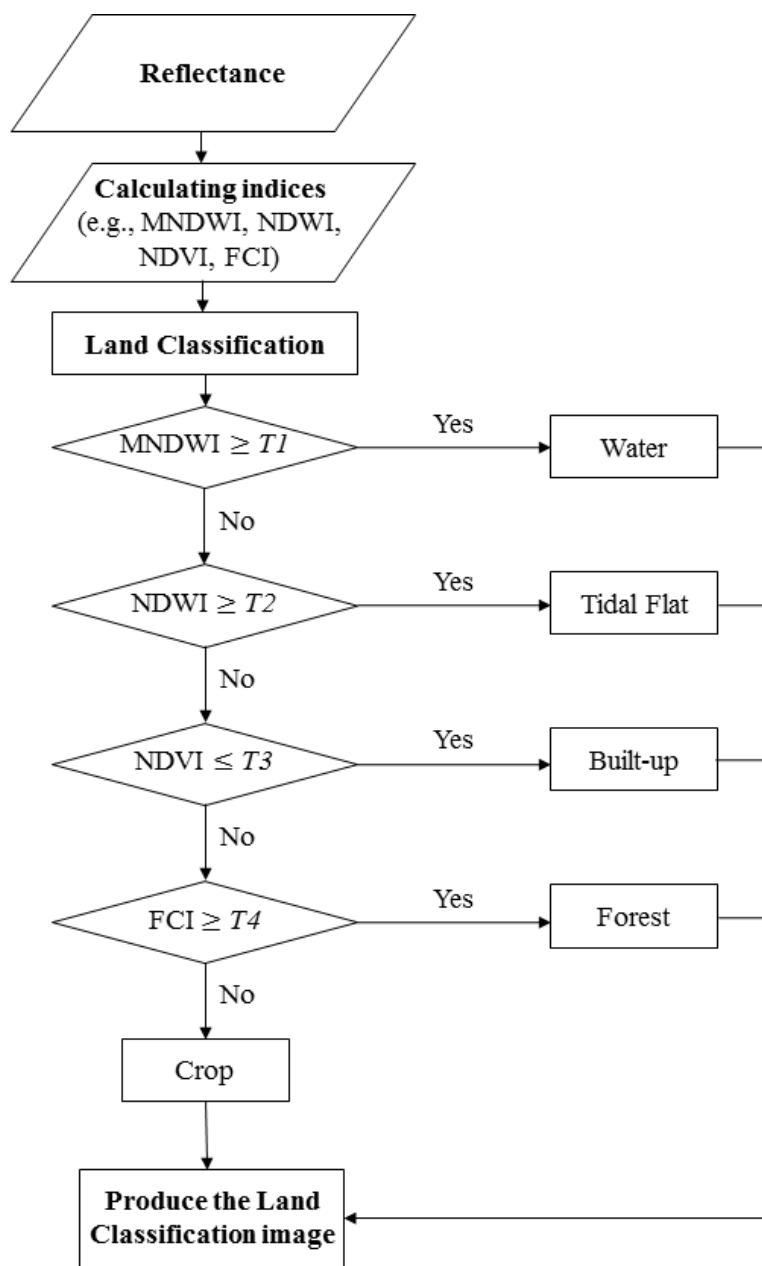


Figure 7. Flow chart of the procedure to produce the land classification image.

3.2 교육 프로그램 개발 절차

본 연구의 R&E 교육 프로그램 개발 절차는 Figure 8에 제시하였다. 먼저 교육적 활용이 가능한 위성 연구 주제와 방법을 선정한 후 사전 연구 분석을 바탕으로 실제 과학 연구(Authentic scientific inquiry)를 수행하였다. 다음 단계에서는 R&E 교육 프로그램을 적용할 수업 대상과 수업 시간을 설정하였다. 본 프로그램은 특정 주제를 중심으로 학생들이 직접 심도 깊은 탐구를 수행하는 것을 목표로 하기 때문에 고등학생으로 구성된 4명 이내의 소그룹을 수업 대상으로 선정하였다. 학생들이 원활하게 탐구를 수행하기 위해서는 위성 자료 처리 프로그램 실습, 자료 수집, 위성 영상 전처리 등의 기초 지식 및 기술을 습득하기 위해서는 50시간 이상의 프로젝트 수업에 적절하다. 실제 진행된 연구를 학생용 교육 콘텐츠(Educational contents)로 개발하기 위해 연구용 프로그래밍 코드를 학생들의 수준에 맞게 단순화하였으며, 재구성한 코드에는 주석을 작성하여 컴퓨터 프로그래밍에 미숙한 학습자도 그 의미를 분명히 이해할 수 있도록 정리하였다. 마지막으로 실제 수업에서 활용할 수 있는 활동 내용을 단계별로 설정하여 수업 프로그램 운영에 도움이 되도록 하였으며, 각 단계별 문항지를 개발하여 연구 결과에 제시하였다.

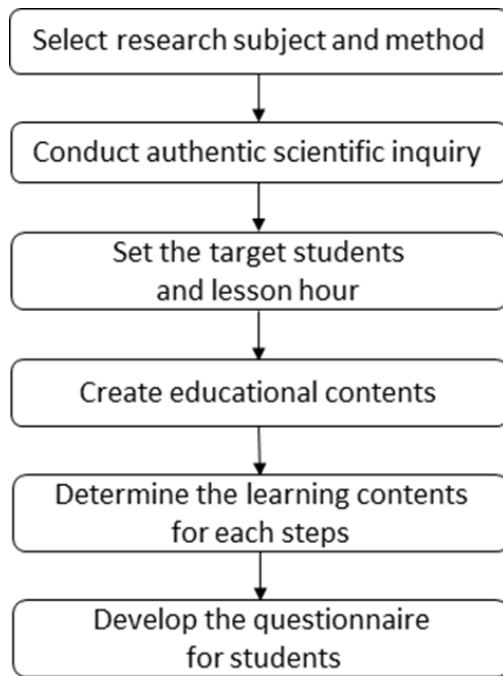


Figure 8. Process of developing the R&E program.

4. 연구 결과

4.1 지표이용분류 결과

4.1.1 RGB 시계열

1988년부터 2016년까지의 RGB 영상 합성 결과를 시간 순서대로 배열하여 시흥시 주변 지역의 변화 양상을 Figure 9에 나타내었다. 29년의 연구 기간 동안 해안선, 인공구조물 분포, 녹지 분포, 도로 상황 등을 포함한 지표정보가 크게 변한 것이 확인되었다.

Figure 9a는 1988년 시흥시 주변 지역의 모습으로 시화만 주변에서 간척지 사업이 시작되었고 인천의 현 송도 지역은 아직 매립 공사가 시작되기 전인 것을 확인하였다. 1992년에는 시화방조제가 건설되고 있으며 시화공업단지 부근의 개간이 모두 이루어졌다(Figure 9b). 1996년에는 시화방조제가 완성되어 거대한 담수호가 형성되었고 외곽순환고속도로·서해안고속도로 등이 건설되었다(Figure 9c). 2000년부터 2010년까지 시흥시의 간척 사업 이외에도 인천 송도 매립 공사가 진행되면서 건물과 도로를 포함한 인공구조물의 비율이 크게 증가하였다(Figure 9d, Figure 9e, Figure 9f, Figure 9g). Figure 9h는 가장 최근인 2016년 영상으로 일부 산림 영역을 제외하고는 시흥시 전 지역에서 도시 개발이 진행되었고, 간척사업도 지속적으로 이루어지고 있다. 인천 송도매립지의 경우도 매립 공사가 점차적으로 진행되고 있으며, 국제도시가 건설되는 등 연구 영역 전반에서 도시화가 진행된 모습이 확인되었다.

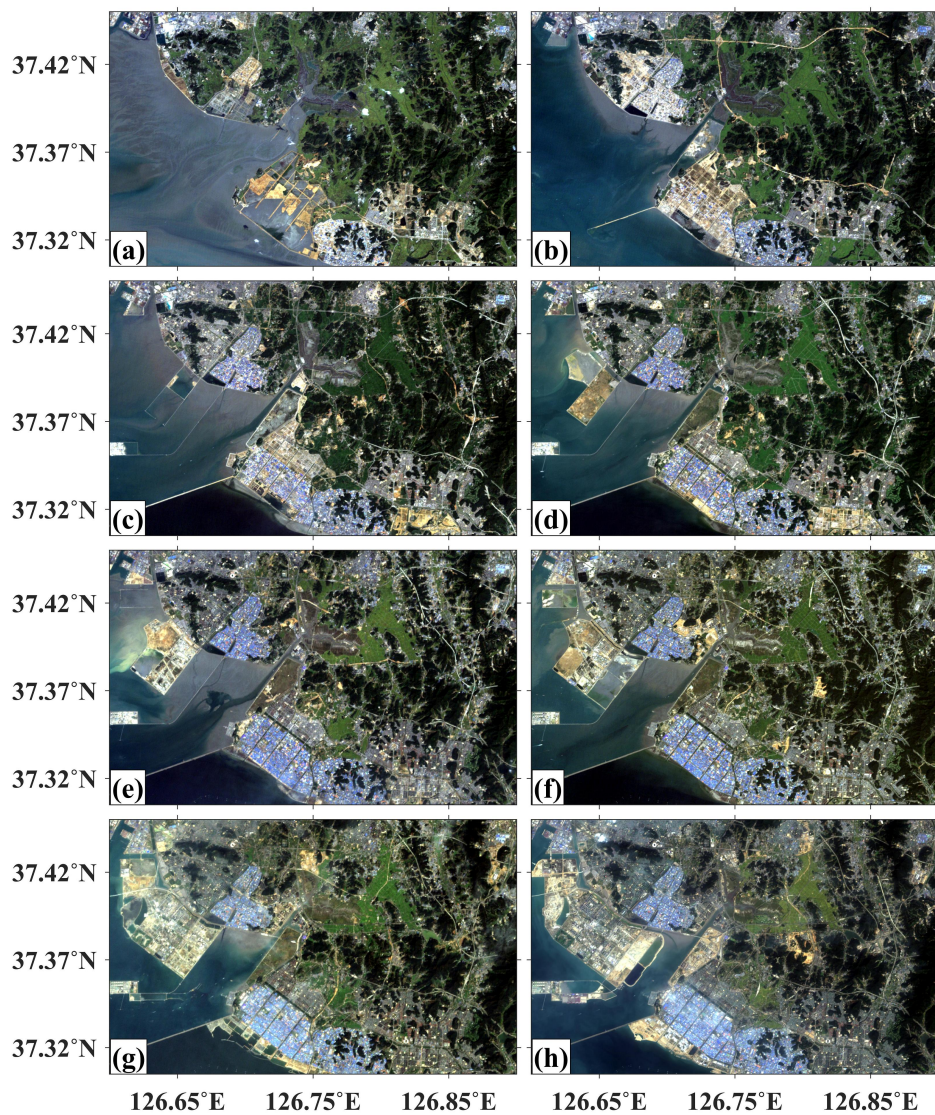


Figure 9. Result of RGB image synthesis from: (a) Sep. 27, 1988, Landsat 5 (b) Sep. 22, 1992, Landsat 5 (c) Sep. 1, 1996, Landsat 5 (d) Sep. 4, 2000, Landsat 7 (f) Sep. 13, 2006, Landsat 5 (g) Sep. 16, 2010, Landsat 7 (h) Sep. 24, 2016, Landsat 8

4.1.2 지수 산출 결과

NDVI는 인공구조물 영역보다 식생(산림·경작지) 영역에서 높게 나타나(Figure 10a), 인공구조물 영역과 식생(산림·경작지) 영역을 분류하는데 적합하다. NDWI는 갯벌 영역이 인공구조물·산림·경작지 영역에 비해 높아(Figure 10b) 갯벌 영역과 인공구조물·산림·경작지 영역을 분류하는데 용이하다. MNDWI는 물인 영역이 물이 아닌 지역에 비해 높아 물인 영역을 구별하는 지수로 사용하였다(Figure 10c). 경작지 영역보다 산림 영역에서 FCI가 높게 나타났고(Figure 10d), FCI는 경작지 영역과 산림 영역 분류에 유용한 지수인 것을 확인하였다.

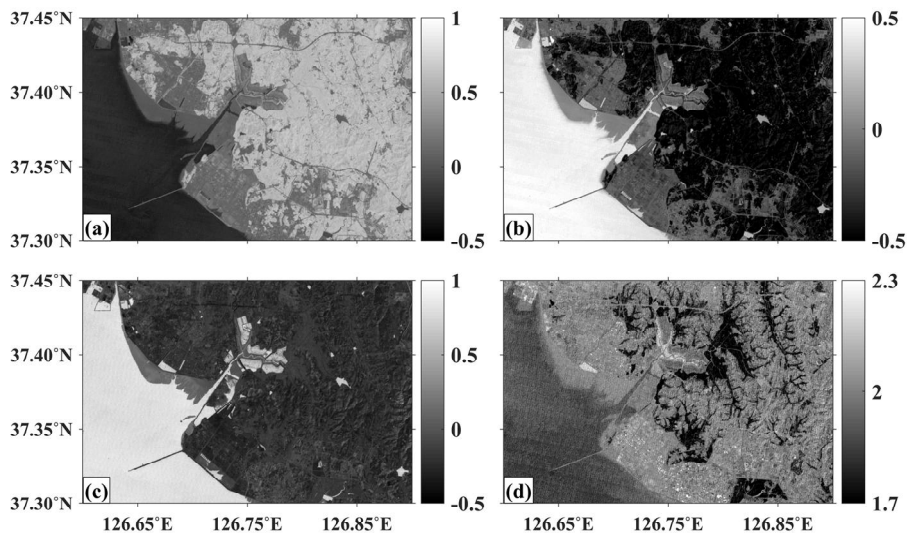


Figure 10. Calculated indices from Landsat 5 data on September 22, 1992. (a) NDVI index. (b) NDWI index. (c) MNDWI index. (d) FCI index.

4.1.3 지표이용분류 결과

4.1.2의 지표분류지수 산출 결과와 Figure 7의 지표이용분류 알고리즘을 활용하면 위성 영상의 지표이용 현황을 분류할 수 있다. 각 지수를 이용해 지표를 분류할 때의 기준값(threshold)은 각 시기의 RGB 영상과 비교해가며 경험적으로 산출하여 적용하였다.

Figure 11에는 지표이용분류 알고리즘을 이용해서 산출한 시흥시의 각 시기별 지표이용분류 결과를 나타내었다. 각 색깔은 서로 다른 지표이용 현황을 나타내는데, 물(담수, 해수)에 해당하는 영역은 파란색, 인공구조물(공업지역, 주거지역, 도로 등)에 해당하는 영역은 분홍색, 갯벌에 해당하는 영역은 갈색, 산림에 해당하는 영역은 초록색, 경작지는 연두색으로 나타내었다. 관측 시기에 따라 조위가 다르기 때문에 갯벌의 넓이 분석은 어렵지만, 물과 갯벌을 합한 바다의 면적 감소와 점진적인 해안선 변화를 확인하였다. 인공구조물의 비율은 지속적으로 증가하고 식생 지역의 비율은 점차적으로 감소한 결과를 통해 도시화의 진행 정도를 확인하였다.

Figure 12은 전체 화소에 대해 각 지표분류 영역별 화소가 차지하는 백분율을 구한 누적막대그래프 결과이다. 5 종류로 구분한 지표이용현황이 연구 영역에서 차지하는 비율을 수치화하여 시간에 따른 변화를 나타내었으며, 이를 통해 시간이 지나면서 영역별 지표이용현황의 변화 추세를 분석하였다. 간척 및 매립사업의 결과로 물과 갯벌을 합한 바다의 비율은 1988년 33.0 %에서 2016년 18.1 %로 감소하였다. 산림에 해당하는 비율은 다소 감소하는 양상을 보이며, 경작지에 해당하는 비율이 10.1 %에서 2.6 %로 감소하였다. Figure 11과 Figure 12을 통해 시간 경과에 따라 과거에는 경작지였던 영역에 인공구조물이 건축되는 변화 양상을 확인하였고, 인공구조물의 경우 1988년 15.5 %에 불과하였으나 2016년에는 연구 영역의 40.2 %로 크게 확장되었다.

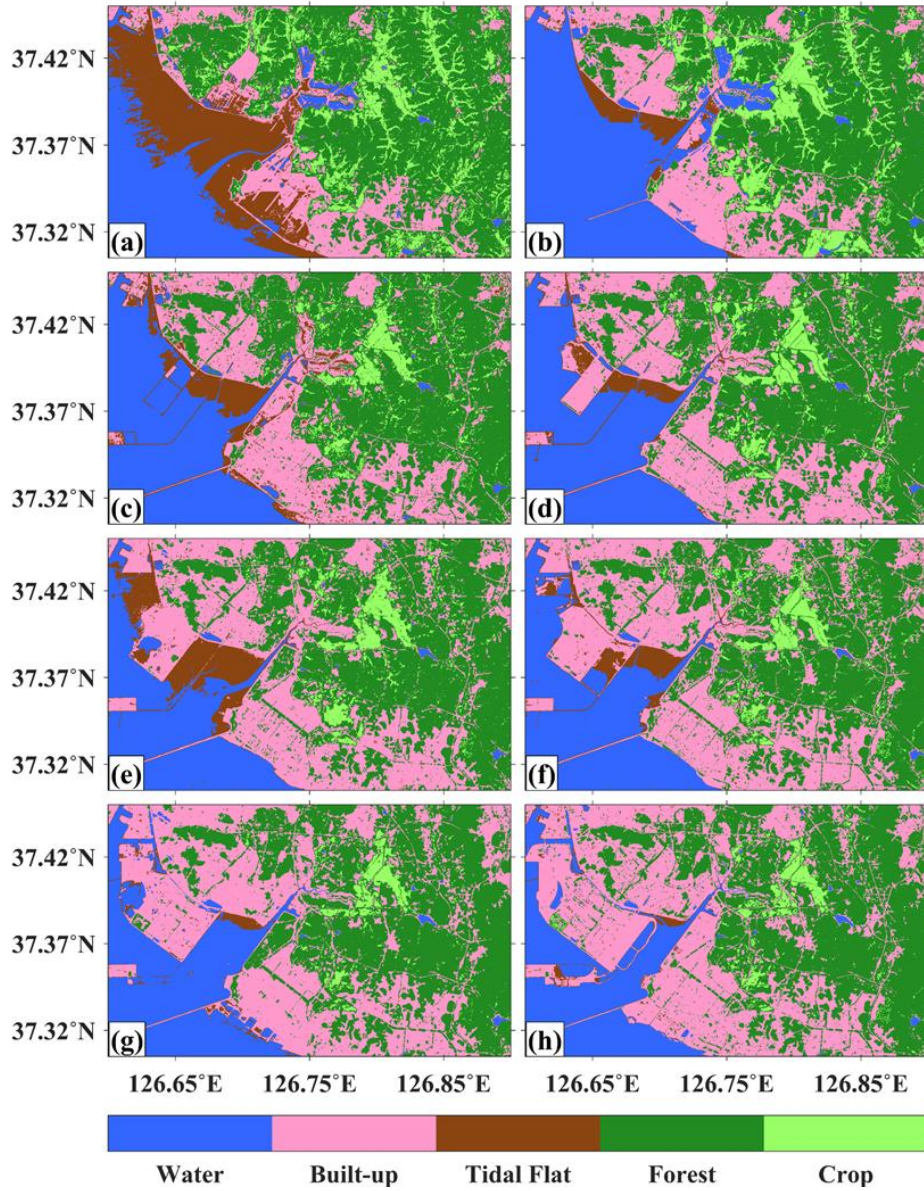


Figure 11. Land classification results from: (a) Sep. 27, 1988, Landsat 5 (b) Sep. 22, 1992, Landsat 5 (c) Sep. 1, 1996, Landsat 5 (d) Sep. 4, 2000, Landsat 7 (f) Sep. 13, 2006, Landsat 5 (g) Sep. 16, 2010, Landsat 7 (h) Sep. 24, 2016, Landsat 8.

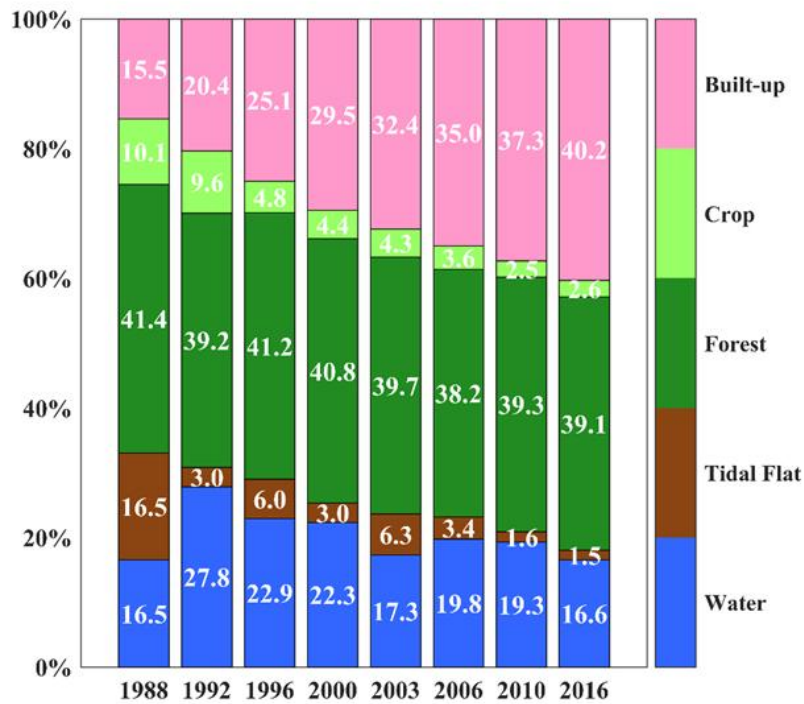


Figure 12. Percentage(%) of the Landuse of Siheung area using Landsat data from 1988 to 2016.

4.2 교육 프로그램 개발 결과

4.2.1 R&E 교육 프로그램 개발

본 연구에서 개발한 R&E 교육 프로그램의 수업 단계를 Table 3에 나타내었다. 첫 번째 단계는 전체적인 연구 계획을 수립하는 단계로, 교사는 Landsat 위성에 대해 가르치고, 학생들은 Landsat 위성을 이용한 연구 주제와 연구 영역 및 기간을 설정한다. 두 번째 단계에서 학생들은 연구에 필요한 위성 영상을 수집하고 자료처리 프로그램의 기초를 실습한다. 세 번째 단계에서는 위성 영상을 분석하기 전 연구 영역을 추출하고 기기값을 반사도로 변환하는 과정을 학습한다. 네 번째 단계는 학생들이 위성 자료의 밴드 개념을 이해하고 RGB 영상을 합성해 시간에 따른 RGB 영상 변화 양상을 확인한다. 다섯 번째 단계에서 학생들은 NDVI, MNDWI, NDWI 등 기존 지표분류지수로 사용되는 지수를 이해하고 필요한 경우 새로운 지수를 정의한다. 여섯 번째 단계에서 학생들은 지표분류지수를 이용해 직접 지표이용분류 알고리즘을 설계하고 지표이용분류 결과를 산출하여 분석한다. 일곱 번째 단계는 지표이용분류 결과를 구글어스(Google Earth)프로그램과 현장 답사를 통해서 검증하는 단계이다. 학생들은 지도교사와 함께 연구 영역 내의 주요 지점들을 방문하여 분류 결과와 실제 지표 종류가 일치 여부를 확인한다. 마지막 단계에서 학생들은 연구 결과를 활용할 수 있는 방안과 위성 연구의 장점 등에 대해 토의하며 연구의 사회적 의의를 모색하는 시간을 갖는다. 각 연구 단계에서 학생들에게 제공되는 문항지는 Table 4에 제시하였다. 각 문항에 대한 답을 구하는 과정에서 학생들은 자료를 처리하고 결과를 도출하는 과정을 학습하고, 교사는 학습자의 수준 및 수업 여건을 고려하여 임의로 단계별 소요 시간을 설정한다.

Table 3. Learning contents for each steps.

단계	주제	학습 내용
1	연구계획 수립	<ul style="list-style-type: none"> · 연구 주제 설정 · 연구 영역 · 기간 설정
2	자료처리 실습	<ul style="list-style-type: none"> · 해당 위성 영상 수집 · 자료처리 프로그램의 기본 실습
3	위성영상 전처리	<ul style="list-style-type: none"> · 수집한 영상에서 연구 영역을 추출 · 영상의 기기값을 반사도로 변환
4	RGB 합성	<ul style="list-style-type: none"> · RGB 영상을 합성 · 장기간 RGB 영상 변화 분석
5	지표분류 지수	<ul style="list-style-type: none"> · 지표분류지수 정의 및 원리 이해
6	지표이용 분류	<ul style="list-style-type: none"> · 지표이용분류 알고리즘을 설계 · 지표이용분류 결과 산출
7	분석 결과 확인	<ul style="list-style-type: none"> · Google earth 혹은 현장 답사 · 분석 결과 확인
8	활용 방안 모색	<ul style="list-style-type: none"> · 연구 결과의 활용 방안 모색

Table 4. R&E Program questionnaire for students.

단계	번호	문항
1	1-1	Landsat 위성 영상에 대한 자료를 찾아보고, 위성 영상으로 연구할 수 있는 연구 주제들은 무엇이 있는지 알아봅시다.
2	2-1	연구에 필요한 영상들을 'earthexplorer.usgs.gov'에 접속하여 수집하고, 자료 처리 프로그램의 기본을 실습해봅시다.
3	3-1	수집한 영역에서 연구하고자 하는 영역을 추출해봅시다.
	3-2	'Level 1 geotiff' 영상 자료는 기기값(digital number)으로 표현되어 있습니다. 'Landsat Handbook'에서 기기값을 복사휘도(radiance) 및 반사도(reflectance)로 변환하는 식을 찾아보고 이를 통해 반사도 자료를 만들어봅시다.
4	4-1	적색, 녹색, 청색 영역 파장대에 해당하는 영상을 각각 열어봅시다. 각 영상은 어떤 모습인가요? 각 영상의 색이 의미하는 바를 알아봅시다.
	4-2	실제 우리가 보는 색과 유사하게 영상을 변환하려면 어떤 작업을 거쳐야 할까요? 영상 처리 프로그램을 통해 RGB(Red Green Blue)영상을 합성하고 관찰해봅시다.
	4-3	각 시기별로 RGB 영상을 합성하여 한 화면에 나타내보고, 그 결과를 바탕으로 시흥시 주변 영역의 도시 변화에 관해 토의해봅시다.
5	5-1	수분지수(NDWI), 보정수분지수(MNDWI), 식생지수(NDVI)와 같은 지수(index)들의 정의를 찾아보고 그 값을 계산하여 영상으로 나타내봅시다. 각 지수를 통해 토지의 이용 현황을 어떻게 구별할 수 있을 지 생각해봅시다.
	5-2	숲과 경작지 영역에서 적색, 녹색, 청색 영역 파장대에 해당하는 밴드의 반사도가 어떻게 차이나는 지 비교하고, 숲과 경작지를 구분하기 위한 지수를 만들어봅시다.
6	6-1	시흥시 주변의 토지 이용 현황을 분류하는 계획을 세워보고, 각 지수(index)별로 적절한 임계값(threshold)을 찾아 지표이용분류 알고리즘을 만들어봅시다.
	6-2	설계한 지표이용분류 알고리즘을 바탕으로 각 시기별로 지표 이용 현황을 분류해보고, 해안선·식생·도시 분포 등이 시간에 따라 어떻게 변하는지 살펴봅시다.
	6-3	연구 영역 내에서 각 토지 분류가 차지하는 비율을 구해 시기별로 막대 그래프로 나타내보고 경향성을 분석해봅시다.
7	7-1	Google earth를 통해 분류 결과를 확인해봅시다.
	7-2	5개 이상 주요 지점을 직접 찾아가 사진을 찍고, 위성 영상으로 분류한 결과와 비교해봅시다.
8	8-1	지표이용분류 결과를 이용할 수 있는 분야들을 조사해보고, 활용 방안을 작성해봅시다.
	8-2	위성 영상을 활용하여 구할 수 있는 다른 정보들에는 무엇이 있을지 조사해봅시다. 도시 변화 분석에 있어 위성 영상 활용이 가지는 특징과 장점에 대해 토의해봅시다.

4.2.2 R&E 교육 프로그램 적용

수업 적용

본 연구에서 개발한 R&E 교육 프로그램의 현장 활용 가능성을 확인하기 위하여 Table 5과 같이 실제 R&E 수업에 적용하였다. 서울대학교 시흥영재교육원 소속 고등학교 1학년 학생 4명을 R&E 교육 대상으로 선발하였다. 2016년 6월 25일부터 2017년 1월 21일까지 약 6개월간 수업을 진행하였고, 6시간씩 10차시에 걸쳐 60시간이 소요되었다. Table 3의 프로그램 내용 구성에 따라 수업을 진행하였으며, 최종적으로 현장 답사를 통해 분석 결과를 확인한 후 연구 결과를 보고서로 작성하여 발표하는 시간을 가졌다. 탐구 단계에 따른 연구 방법을 체계적으로 제시한다면, 위성 영상 활용 연구를 학생용 수업으로 충분히 활용할 수 있다는 점을 확인하였다.

Table 5. Information of the class for R&E program.

주 제	위성영상을 활용한 시흥시 주변 지표이용분류 변화 연구
대상 학생	서울대학교 시흥영재교육원 선발 학생 (인문계 고등학교 1학년)
학생 인원	4명
진행 기간	2016년 06월 25일 ~ 2017년 01월 21일
총 소요 시간	총 60시간 (6시간×10차시)
교육 방법	이론 학습, 참고 문헌 분석, 자료 처리 프로그램 실습, 결과 자료 분석, 발표 및 토의

Figure 13. Photographs that students are participating in the R&E program.



4.2.3 현장 체험 활동을 통한 위성 자료 검증

본 교육 프로그램을 통해 학생들은 위성 영상을 활용하여 지표이용 현황을 분류하는 연구를 진행하였다. 위성 활용 연구의 특성상 연구 결과를 실측 결과와 비교하여 검증하는 과정이 필수적이다. 따라서 위성 영상을 활용한 시흥시 주변 지표이용분류 결과를 실제 시흥시의 지표이용 현황과 비교하기 위하여 학생들과 함께 현장 검증을 수행하였다(Table 6). 현장 검증은 R&E 교육 프로그램을 마무리하고 최종 발표를 수행하기 전인 2017년 1월 17일 실시하였으며, R&E 참가 학생들과 담당 조교 2명이 동행하였다. 안산역, 군자대교, 시흥시 정왕동 주변 5지역을 검증 지역으로 선정하였으며 각 지역의 위경도 자료는 Table 7에 나타내었다. 연구에 사용한 영상 중 가장 최근 자료인 2016년 9월 24일 Landsat 8 영상의 지표이용분류 결과(Figure 14(a))와 실제 학생들이 검증 지역을 찾아가 확인한 지표이용현황(Figure 14(b))을 비교하였다. 비교 결과 위성 자료를 활용한 지표이용분류 결과는 대체로 일치하는 것을 확인하였으며, 과거의 위성 자료를 활용하는 것의 타당성을 구할 수 있었다.

Table 6. Information of field validation.

목 적	위성영상을 활용한 시흥시 주변 지표이용분류 결과와 실제 모습 비교
일 시	2017년 1월 17일 화요일
참가 인원	R&E 참가 학생 4명 및 담당 조교
장소	안산역, 군자대교, 시흥시 정왕동 주변 여러 지역
검증 방법	<ul style="list-style-type: none"> · 검증 지역들의 실제 지표 이용 모습을 사진으로 촬영 · google 지도를 이용해 위·경도 정보 수집 · 해당 사진과 위성영상을 활용한 지표분류 결과 대조

Table 7. Geographical location of each validation site.

No.	Latitude	Longitude	Land Classification
1	37.328463	126.781078	Crop
2	37.326050	126.773518	Forest
3	37.384034	126.723089	Tidal area
4	37.372487	126.742939	Water
5	37.370201	126.745768	Forest

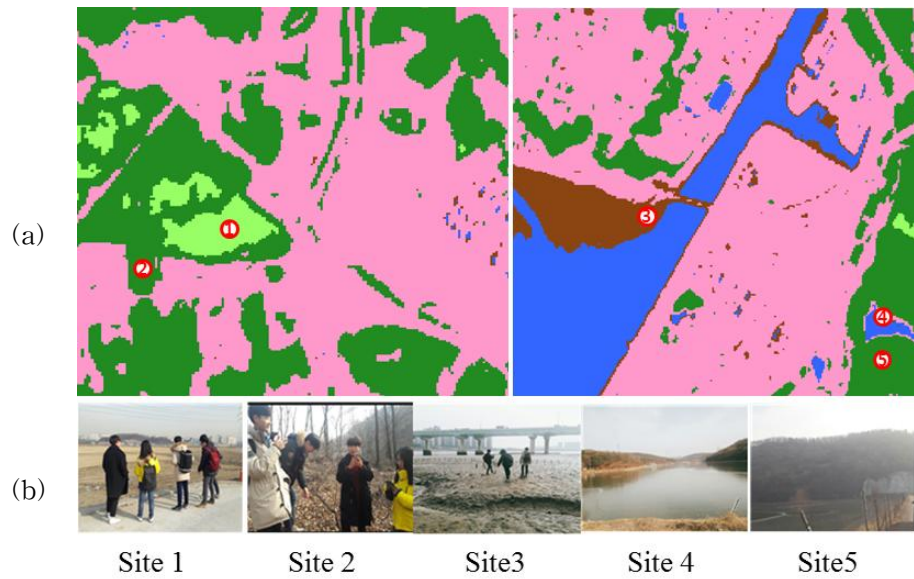


Figure 14. (a) Landuse classification result from Landsat 8 on September 24, 2016 and (b) Scene photos of each site.

4.2.4 교육 프로그램 수행 후 학생 반응

본 R&E 교육 프로그램을 수강한 4명의 학생들을 대상으로 학생 소감문을 작성하도록 하였다. 소감문 작성에 있어 제한된 틀이 있지는 않았으며 60시간의 수업을 통해 얻은 점과 보완할 점을 자유롭게 기술하도록 하였다. 학생들은 주로 컴퓨터와 위성 자료를 이용한 실험·실습 기회, 거주 하는 지역 사회에 대한 관심 증대, 새로운 전공에의 흥미, 동료 학생들과의 협력 경험, 차후 연구 계획 등에 관해 소감을 작성하였다. 학생들이 작성한 내용을 주제별로 구분하여 다음과 같이 정리하였다.

컴퓨터와 위성 자료를 활용한 실험·실습 기회 제공

학생 A: 이전에는 컴퓨터를 다루는 능력이 부족했는데 Matlab을 이용해 위성 자료를 처리하고 영상 자료를 스스로 만드는 활동을 통해 자신감이 생기고, 관련 분야에 흥미가 생겼다

학생 B: 다양한 활동을 했지만 가장 기억에 남는 활동은 Matlab을 이용한 활동이었다. 기본적인 함수들을 공부하고 이를 이용하여 위성 영상을 만들어 보았고..., Matlab을 다른 곳에서도 쓸 수 있게 된 것 같다.

학생 D: 이번 R&E 활동을 통해 인공위성의 특징과 구조 등 알지 못했던 사실을 공부할 수 있었고, 대학교에서 주로 사용하는 Matlab이라는 영상 처리 프로그램을 조금이나마 다룰 수 있게 되었다.

자율적인 연구 경험 제공 및 차후 연구 계획

학생 A: 나중에 Matlab과 USGS 자료를 이용해 스스로 지역을 선정하여 그 지역의 발전 과정과 변화를 알아내어 논문을 작성해보고 싶다.

학생 B: 인공위성을 이용해 내가 사는 고장을 직접 연구해볼 수 있어서 유익하였고, 과학 연구에 직접 참여하고 연구 방법 등을 설계해볼 수 있어 아주 좋은 경험을 하였다...(중략)... 1년 동안의 경험을 토대로 2학년 때 교내 R&E 대회에서 직접 실험을 설계하려는 계획을 가지고 있다. 서울대 R&E 과정에서 배운 것을 토대로 1년 동안 꾸준히 연구를 진행하여 소논문을 써보는 등 좋은 결과를 이루어 내려고 노력할 것이다.

학생 D: 나는 이 교육 프로그램이 평소에 주체적으로 접해보지 못한 문제들을 직접 다루고 연구할 수 있는 기회를 제공해 주어서 참 좋다고 생각한다...(중략)...이번 R&E 활동을 통해 배운 내용들을 꾸준히 복습하여 대학교에 가서 유용하게 사용하도록 노력할 것이다.

지역 사회에 대한 지식과 관심 증가

학생 A: 나는 시흥시에 살고 있지만 시흥시의 발전에 대해서는 관심이 없었다. 연구를 통해 시흥시의 변화와 발전 과정을 스스로 찾아보고 연구했기 때문에 내가 사는 고장에 대해서 애절한 마음이 생겼다.

학생 B: 1986년에 없었던 방조제가 2016년에는 새로 생겼다는 것을 알아보았고..., 내가 사는 시흥의 지리와 환경에 대해 잘 이해할 수 있었다.

학생 D: 직접 시흥시의 변화를 관측하면서 평소에 아무런 관심이 없었던 우리 지역에 더 많은 관심을 갖게 된 것 같다.

기타

학생 A: 지구과학 분야에 대한 거리감이 사라지고 관심과 흥미가 매우 커졌다. ...(중략)...연구 내용이 어렵고, 컴퓨터로 실험하는 과정이 생소하였지만 조교님들의 도움과 동료 친구들과의 협력으로 장기간 연구를 무사히 마칠 수 있었다.

학생 B: 학교 공부와 더불어 연구를 하면서 바쁜 시간을 보냈지만 과학 연구를 하는 것이 나의 적성에 맞다는 것을 깨닫게 되었다.

학생 C: R&E 교육 프로그램에서 Matlab 영상 처리 프로그램을 배우면서 컴퓨터 공학에 관심이 생겼다.

위성 영상을 직접 다운받아 자료를 처리하는 실습 기회는 기존의 학교 수업에서 제공되기 어렵고 최근 코딩 학습의 중요성도 부각되고 있어 학생들이 흥미를 갖고 연구에 참여하는 것을 확인하였다. 학생들은 평소 어렵게 느껴진 위성 연구에 직접 참여하여 자신이 살고 있는 고장과 관련하여 문제 인식을 갖고 실험을 설계한 것이 인상 깊었다고 답하였다. 본 교육 프로그램을 통해 실질적인 연구 수행 능력을

습득하고 탐구에 대한 자신감과 의지를 갖게 된 것을 확인할 수 있었으며 차후 교내 R&E 대회 등에 참여해서 습득한 지식과 기술을 바탕으로 다른 지역의 변화 과정을 분석하는 연구 계획을 수립하는 학생들도 있었다. 특히 학생들은 시흥시의 과거 모습과 현재 모습을 비교하여 도시 변화 양상을 분석하면서 지역 사회에 대한 관심과 애정이 증대되었다고 답하였다. 다른 고장에 거주하는 학생의 경우 연구 영역을 달리 설정하면 학생들의 동기 부여에 도움이 되고 애향심을 길러주어 정의적 영역의 발달에 기여할 것이라 기대된다.

이러한 답변들을 토대로 위성 자료를 활용한 R&E 교육 프로그램이 학생들의 연구 동기 유발과 실질적인 과학적 탐구 기능 습득 향상에 기여할 수 있었음을 확인하였다.

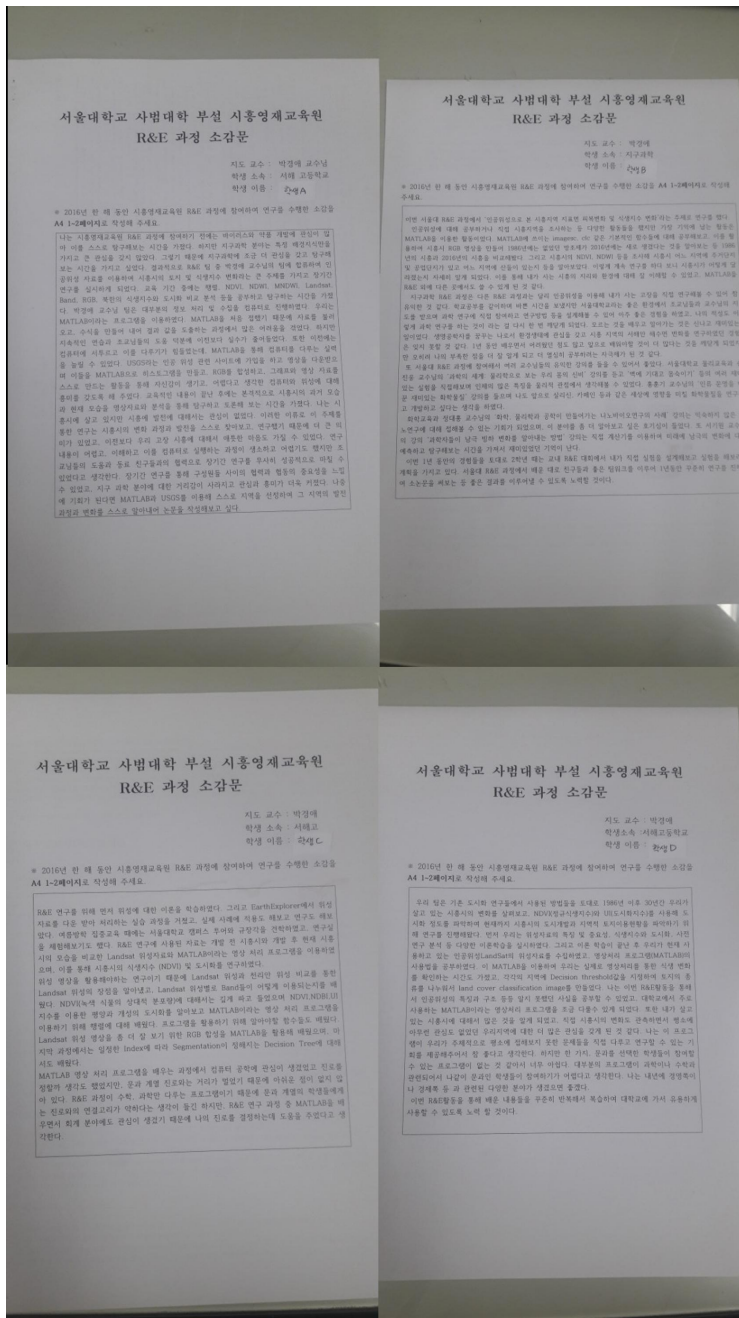


Figure 15. Students' appreciation to the class after 60 hours R&E program.

5. 결론 및 제언

5.1 결 론

본 연구는 과학 영재들을 위한 위성 자료 기반 R&E 교육 프로그램 개발을 목적으로 한다. 본 연구는 학생이 접근하기 어려운 위성 영상 활용 단계를 체계적으로 정리하였다는 점, 학생이 실제 과학자들의 연구 과정을 이해하고 체험할 수 있는 기회를 마련하였다는 점, 이를 통해 과학의 본성을 이해하고 학생 스스로 탐구를 진행할 수 있는 교육 프로그램을 개발하였다는 점, 학문의 특성상 실험 및 실습이 어려운 지구과학 과목에서 위성 영상의 수업 활용 가능성을 제시하였다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다. 본 연구의 결과는 다음과 같은 다섯 가지로 요약될 수 있다.

첫째, 위성 영상을 처리하는 과정과 원리를 제시하였다. 본 연구에서는 위성 자료 수집 및 위성 영상 전처리 과정을 상세하게 설명하고 학생 교육용 프로그래밍 코드를 제시하여 위성 자료를 다루어보지 않은 학습자가 과학적 탐구를 진행할 수 있도록 하였다.

둘째, 본 연구에서는 Landsat 위성 자료를 활용해 지표이용분류 알고리즘을 설계하였다. NDWI, MNDWI, NDVI, FCI 등 지표이용분류 지수들을 활용하여 물, 갯벌, 인공구조물, 산림, 경작지 영역을 분류할 수 있는 것을 확인하였고 해당 지수들을 이용해 지표이용분류 알고리즘을 설계하였다.

셋째, 설계한 지표이용분류 알고리즘을 바탕으로 시흥시 주변 지역의 변화 양상을 분석하였다. 29년의 연구 기간 중 8개의 Landsat 위성 영상을 선정하여 지표이용분류를 수행하였고, 이를 이용해 시흥시 주변 지역의 지표 이용 변화를 정성적, 정량적으로 분석하였다.

넷째, 직접 수행한 연구를 기반으로 R&E 교육 프로그램을

개발하였다. 위성 영상을 처리하고 분석하는 과정을 단계별 학습 내용으로 제시하였고, 각 단계에 적합한 문항지를 개발하였다.

다섯째, 개발한 R&E 교육 프로그램을 이용해 실제 수업을 진행하였다. 학생들은 단계별로 제시되는 학습 내용을 습득한 후 시흥시 주변 영역의 지표이용분류 결과를 도출하였고, 주요 지역 현장 답사를 통해 지표이용분류 결과를 실제 지표 모습과 비교하며 검증하였다.

5.2 제 언

본 연구에서는 인공위성 영상 자료의 활용 예시를 한 가지 제안하였으나 인공위성의 비약적인 발전을 고려해볼 때 위성 영상 자료는 다양한 교육 프로그램에 활용 가능하다. 따라서 본 연구를 통한 제안점과 시사점을 다음과 같이 정리하고자 한다.

첫째, 인공위성 자료의 지구과학 교육 활용 가능성을 제안한다. 인공위성은 시공간의 제약 없이 저렴한 비용으로 해양, 대기, 지표, 환경 등의 분야와 관련된 연구를 진행할 수 있게 해준다. 인공위성의 광범위한 활용 가능성에도 불구하고 자료 처리에 필요한 기술과 지식 습득 문제로 위성 영상을 교육적으로 활용하지 못하고 있다. 본 연구는 위성 영상을 수집하고 처리하여 분석하는 방법을 제공하여 위성 자료를 활용한 수업을 위한 발판을 마련하였다.

둘째, 위성 자료를 활용하면 학생 주도의 R&E 교육 프로그램을 운영할 수 있을 것으로 사료된다. 이번 연구는 시흥시 주변 영역의 도시 변화를 주제로 진행하였지만 학생들이 제시된 자료 처리 기술을 습득한다면 향후 다른 영역과 다른 주제를 중심으로 주도적인 연구를 진행할 수 있을 것이다.

셋째, 과학 영재 교육을 위하여 과학자들과 교육 연구자들의 공동 연구와 협력이 필요하다는 점을 시사한다. 첨단 산업의 급격한 발달로 우수한 이공계 인력 양성이 큰 사회적 과제로 대두되고 있지만 과학과 기술의 영역이 나날이 전문화되어 교육 연구자들이 최신 과학 연구를 기반으로 한 교육 프로그램을 개발하는 것이 어렵다. 산업적, 학문적으로

우수한 인재를 키우고 영재 교육을 내실화하기 위하여 첨단 과학과
관련된 교육 프로그램을 개발하는데 있어 각 분야 전문가들의 협력이
필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 강다현 (2008) 간섭과 회절과 관련한 영재 교육 프로그램 개발 및 적용.
서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 강성주, 김현주, 이길재, 권영식, 김명희, 김연숙, 김윤희, 신호심, 임희영,
하지희 (2009) R&E 프로그램에 대한 과학영재고등학생들의 인식
연구. 한국과학교육학회 29(6): 626-638.
- 교육부 (1997) 7차 교육과정 고등학교 과학과 해설서. 206-226.
- 김경대, 심재영 (2008) R&E 프로그램을 체험한 과학 영재들의 사사교육
프로그램 효과에 대한 인식: KAIST 신입생을 중심으로.
한국과학교육학회지 28(4): 282-290.
- 김동휘, 류동우, 최영민, 이우진 (2010) 인천 송도지역 지층분포 추정을
위한 크리깅과 역거리가중치법의 적용. 한국지반공학회 26(1): 5-19.
- 김연수 (2010) 지구과학영재를 위한 천문사사교육 프로그램 개발.
경북대학교 대학원 석사학위논문.
- 김정민, 심규철 (2008) 과학영재들을 위한 과학적 연구 기반 사사교육
프로그램 분석 연구. 국제과학영재학회지 2(1): 71-77.
- 김진섭 (2015) R&E 과정을 통한 전자기 공명 방식의 무선전력 수송용
코일 설계. 공주대학교 대학원 석사학위논문.
- 김혜숙 (2008) 한국 영재교육의 현황: 평가와 과제. 창의력교육연구 8(2):
73-90.
- 김희수 (2014) 적벽강 지역의 가상 야외지질답사 자료 개발 및 적용.
현장과학교육 8(3): 205-215.
- 배새벽, 김경대, 강순민, 윤소정 (2009) 과학영재학교의 학습 지원 체제
유용성에 대한 학생들의 인식: 한국과학영재학교를 중심으로.
한국과학교육학회지 29(5): 552-563.
- 부건우, 길윤상, 손정주, 김신영 (2013) DSLR을 이용한 태양 흑점 관찰
및 차등 자전 주기 측정. 현장과학교육 7(3): 182-192.
- 양종우, 김현문, 김희수 (2013) 인터넷 기반 원격천체관측 시스템 개발.

- 현장과학교육 7(2): 77-84.
- 양종우, 김희수 (2014) 소형망원경을 이용한 천체의 분광관측 시스템 개발. 현장과학교육 8(3): 222-233.
- 여상인 (2015) 과학영재를 위한 비형식 교육으로서의 영월지역 과학탐방 프로그램 개발. 교육논총 35(1): 161-180.
- 이도현, 윤지현, 강성주 (2016) 중등 과학 영재들의 집단 창의성을 돕기 위한 전략으로서 디자인적 사고 프로그램의 가능성 탐색. 현장과학교육 10(2): 151-171.
- 이신동, 이정규, 최병연 (2011) 영재학교 및 과학고와 대학과의 연계 현황에 대한 대학생들의 인식 분석. 영재와 영재교육 10(1): 73-97.
- 이혜경 (2012) 시화호 간척개발사업과 환경관리정책의 변화. 환경법과 정책 9: 153-173.
- 임길선, 정완호 (2004) 과학영재교육을 위한 웹기반 STS수업모형 개발: 생물교육을 중심으로. 한국과학교육학회지 24(5): 851-868.
- 정현철, 류춘렬, 채유정 (2012) 과학고 및 영재고 R&E 운영실태 분석 및 활성화방안 제안: R&E 운영담당자 면담사례를 중심으로. 22(2): 243-264.
- 지준범 (2014). 수도권 지표특성 분석을 위한 Landsat 자료의 활용. 한국 지구과학회 35(1): 54-68.
- 팽주현 (2015) 과학영재 R&E 지도를 통한 감쇠조화진동형 액체점성측정 장치 개발에 관한 연구. 공주대학교 대학원 석사학위논문.
- 한국교육개발원 (2014) 국가 영재교육 프로그램 기준 개발을 위한 해외 사례 분석.
- 한기순, 김병노, 최승언, 정현철 (2002) 과학 창의성 계발을 위한 프로그램 개발: 이론과 예시를 중심으로. 한국지구과학회 23(4): 334-348.
- 허정운 (2004) 수질오염 바이오센서 개발을 통한 과학영재 사사교육의 모형과 적용에 관한 연구. 경남대학교 대학원 박사학위논문.
- Chander, G., Markham, B. L., and Helder, D. L. (2009) Summary of

- current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment* 113: 893–903.
- McFeeters, S. K. (1996) The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17: 1425–1432.
- Murray, N. J., Phinn, S. R., Clemens R. S., Roelfsema, C. M., and Fuller, R. A. (2012) Continental scale mapping of tidal flats across East Asia using the Landsat Archive. *Remote Sensing* 4: 3417–3426.
- NASA Landsat 7 Science Data Users Handbook, Available online: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_toc.html (accessed on 9 June 2016).
- NASA Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, Available online: <https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-users-handbook> (accessed on 20 July 2016).
- Park, K. A., Undus, B., and Kim, K. R. (2012) Effects of El Niño on spring phenology of the highest mountain in north-east Asia. *International Journal of Remote Sensing* 33(16): 5268–5288.
- Quinlan, J. R. (1986) Introduction of Decision Trees. *Machine Learning* 1(1): 81–106.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Scheel, J. A., and Deering, D. W. (1974) Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings. 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium* 1: 48–62.
- Bayarsaikhan, U., Park, K. A., Kim, K. R., Kim, J., and Ryu, J. H. (2013) Diurnal variation of NDVI from an unprecedented high-resolution geostationary ocean colour satellite. *Remote Sensing Letters* 4(7): 639–647.

Xu, H (2006) Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27: 3025-3033.

Abstract

Development and Application of R&E Educational Program Using Satellite Image - Focused on Land Use Classification Around Siheung -

YEWON YOON

Department of Science Education

The Graduate School

Seoul National University

R&E (Research and Education) program for science-gifted students has been emphasized since it can improve students' creativity and scientific-thinking ability, with diverse opportunities for scientific research experiences. In this study, we intended to develop an R&E education program for science-gifted students by reconstructing the results of the land use classification research into educational contents using satellite data. In order to produce a land use classification map of the area around Siheung City, long-term Landsat images were collected for the period of 1988 to 2016. Four indices, such as Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Forest Crop Index (FCI), related to land use were applied to the Landsat images collected over the course of 29 years. Long-term changes in the land use classification presented devastating increase of city area or human-made artificial structures, in

contrast to significant decrease of natural environmental elements such as forest, crop, water drainage, tidal flats, and so on. To develop an R&E educational program that can be used practically, we simplified the research process, reconstructed step-by-step learning contents for the students, and developed a questionnaire for each research stage. The developed R&E program was applied to the students of Siheung Gifted Education Center of Seoul National University. This study emphasizes satellite-based R&E program applicability and the program development necessity.

keywords : R&E Educational Program, Land Use Classification, Satellite, Science-Gifted

Student Number : 2016-21607